

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08248108 A**(43) Date of publication of application: **27.09.96**

(51) Int. Cl.

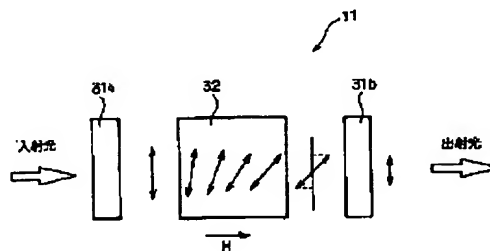
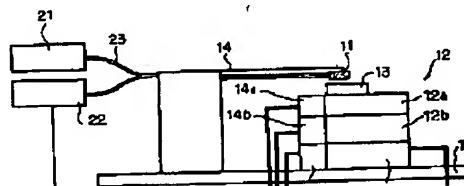
**G01R 33/032**  
**G01D 5/26**(21) Application number: **07050685**(71) Applicant: **TEIJIN SEIKI CO LTD**(22) Date of filing: **10.03.95**(72) Inventor: **TOGAWA MASAYUKI****(54) MAGNETIC FIELD MEASURING DEVICE****(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To measure magnetic field strength distribution with precision by collecting optical magnetic field strength information with a small detecting means, without being affected by magnetic field strength in other areas, etc., relating to a magnetic field measuring device which detects magnetic field strength in a minute area.

**CONSTITUTION:** A polarizer 31 a generating linearly polarized light from incident light, a magneto-optical effect element 32 having a ferromagnetic body in which magnetization is oriented in the direction approximately parallel or orthogonal to the advancing direction of light according to magnetic field strength, and a polarizer 31b which allows transmission only of the component in the specified direction of the linearly polarized light whose polarization plane is rotated or unrotated according to the magnetization direction in the element 32 are provided. A magnetic field convertor 11 converting the magnetic field strength into quantity variation of transmitted light for detection, a light source 21 making the specified quantity of light incident to the magnetic field convertor 11, and an XYZ

stage 12 displacing relative position to the magnetic field convertor 11 and a to-be-measured object 13, are provided.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-248108

(43) 公開日 平成8年(1996)9月27日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 33/032		8908-2G	G 0 1 R 33/032	
G 0 1 D 5/26			G 0 1 D 5/26	J

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-50685

(22) 出願日 平成7年(1995)3月10日

(71) 出願人 000215903

帝人製機株式会社

大阪府大阪市西区江戸堀1丁目9番1号

(72) 発明者 外川 雅之

岐阜県不破郡垂井町宮代字尾崎1110-1

帝人製機株式会社岐阜第一工場内

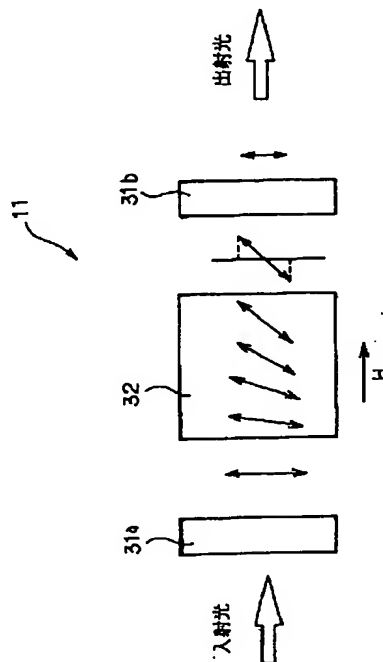
(74) 代理人 弁理士 有我 軍一郎

(54) 【発明の名称】 磁界測定装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、微小領域の磁界強度を検出可能な磁界測定装置に関し、光による磁界強度情報を小型の検出手段で得られるように工夫することにより、他の領域の磁界強度などの影響もなく磁界強度情報を検出して、正確な磁界強度分布の測定を実現することを目的とする。

【構成】 入射光から直線偏光を生成する偏光子31a、磁化方向が光の進行方向と略平行または略直交方向に磁界強度に応じて磁化が配向される強磁性体を有する磁気光学効果素子32、および該素子32内部の磁化方向に応じて偏光面を回転または非回転された直線偏光の特定方向の成分のみ透過する偏光子31bにより構成され、磁界強度を透過する光の光量変化に変換して検出する磁界変換器11と、所定光量の光を磁界変換器11に入射する光源21と、磁界変換器11および被測定物13の相対位置を変位させるXYZステージ12と、を備えたことを特徴としている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光を出射する光出射手段と、該光出射手段から出射された光の光量を磁界強度に応じて変化させ磁界強度情報を光量変化に変換する磁界光変換手段と、該磁界光変換手段から出射される光量を検出する光検出手段と、該磁界光変換手段および被測定物の相対位置を変位させる位置変位手段とを備え、被測定物に対する相対位置に応じた光に変換された磁界強度情報から該被測定物による磁界強度分布を測定する磁界測定装置。

【請求項2】前記磁界光変換手段に、前記光出射手段で出射された光から特定の偏光面を持つ直線偏光を取り出して生成する第1の偏光手段と、磁化方向が直線偏光の進行方向と略平行方向または略直交方向に磁界強度に応じて磁化が配向される強磁性体を有する磁気光学効果素子と、該磁気光学効果素子内部の磁化方向に応じて偏光面を回転または非回転された直線偏光のうち特定の方向の成分のみ透過させる第2の偏光手段と、を設けたことを特徴とする請求項1記載の磁界測定装置。

【請求項3】前記磁界光変換手段を複数備えることを特徴とする請求項1または2記載の磁界測定装置。

【請求項4】前記複数の磁界光変換手段の直線偏光の進行方向をそれぞれ異なる方向に設定したことを特徴とする請求項3記載の磁界測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁界強度を測定する磁界測定装置に関し、特に微小領域の磁界および被測定物に近接した領域の磁界情報を他の領域から影響を受けることなく検出して正確な磁界分布を測定することができる磁界測定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来より、磁界検出手段を磁界中に位置させその磁界強度に応じて生じる電気信号を取り出し磁界分布を測定する磁界測定装置が知られており、この磁界測定装置は、例えば、モータの品質管理を行なうために着磁したロータ等の永久磁石の磁気パターン分布を測定したり、鉄板等の磁性材料の欠陥を検出するために磁界中における磁界強度分布を測定する際に用いられている。

【0003】この種の磁界測定装置としては、検出手段を磁界中で常に一定速度で移動させ磁界変化を測定するタイプや、検出手段を磁界中に配置し磁界強度を測定するタイプがあり、検出手段および被測定物の相対位置を変位させて磁界強度分布を測定している。前者の磁界測定装置としては、図13に示すようなものがあり、抗磁力の小さい高透磁率磁性体1aにコイル1bを巻いた検出手段1を被測定物2による磁界中で常に一定速度で移動（振動）させることによって磁束変化を発生させ、コイル1bに誘起される電流をケーブルを介して電流計3で検知することにより磁界の変化を検出し、検出手段1と

被測定物2との相対位置を変位させ磁界分布を測定している。

【0004】また、後者の磁界測定装置は、図14に示すようなものがあり、ホール効果素子や磁気抵抗効果素子の検出手段4を被測定物2による磁界中に位置させることによって磁界強度により変化する起電力や抵抗値の電気信号をケーブルを介して信号処理回路5で検知することにより磁界強度を検出し、検出手段4と被測定物2との相対位置を変位させ磁界分布を測定している。

【0005】なお、図13および図14において、6は被測定物2をX・Y・Z方向に移動させ検出手段1、4との相対位置を変位させるXYZステージ、7はステージ6のX・Y・Z方向それぞれの変位位置を検出するエンコーダ、8はステージコントローラ6aを介してステージ6を駆動制御するとともに、エンコーダコントローラ7aを介するエンコーダ7の位置情報と電流計3または信号処理回路5の検出情報（磁界強度情報）を取り込んで被測定物2の磁界分布を算出するコンピュータである。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前者の磁界測定装置にあっては、被測定物2を検出手段1に対して常に移動させ磁束の時間変化（ $d\Phi/dt$ ）から磁界強度を検出しているので、正確な磁界分布を測定するためには磁束変化から得られる磁界強度情報と被測定物2に対する相対位置情報とのずれをなくす必要がある。そのずれを補正するために演算処理能力の高いコンピュータ8を用いるとコスト高になり、被測定物2の移動速度を遅くするとコイル1bに誘起される電流値が小さくなりS/N比が悪くなってしまうという問題があった。

【0007】さらに、被測定物2に磁界強度の高い箇所が近接している場合には、図15に示すように、双方の磁界の影響を受ける中間で磁力線9a、9bが磁性体1aを通ることからコイル1bには双方の磁界強度による電流が誘起されるため、正確な磁界分布を測定することができない。この問題は磁界強度の高い箇所が近接している場合に限らず発生するため、被測定物2から離隔する方向の分解能は低い。このように被測定物2の表面に近接した領域や離隔した領域の磁界強度を検出することは難しく、内部の磁界強度変化や磁氣的不連続（欠陥）を検出することは原理的に不可能であるという問題があった。

【0008】また、後者の磁界測定装置にあっては、検出手段4を被測定物2の磁界中に停止させて電気信号の磁界強度情報を得ることはできるが、検出手段4のホール効果素子や磁気抵抗効果素子が出力する電気信号は微弱であり外部からの電磁波による干渉がノイズとなる。この電磁波による影響を小さくするために電磁シールドを施したり、検出手段4に電気信号を増幅する回路を配置すると、検出手段4廻りが大きくなってしまう。そして、異なる相対位置で同時に磁界強度を検出するために

複数の検出手段4を具備させても、これらを近接させることができないという問題があった。

【0009】そこで、本発明は、光による磁界強度情報を小型の手段で得られるように工夫することにより、他の領域から影響および被測定物との位置ずれが少なく被測定物との相対位置を問わない微小領域の磁界強度情報の検出を実現して、正確な磁界強度分布を測定可能な磁界測定装置を提供することを目的とする。また、複数領域および多方向からの磁界強度情報の同時検出を実現して、測定時間の短縮を図ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的達成のため、請求項1記載の発明は、光を出射する光出射手段と、該光出射手段から出射された光の光量を磁界強度に応じて変化させ磁界強度情報を光量変化に変換する磁界光変換手段と、該磁界光変換手段から出射される光量を検出する光検出手段と、該磁界光変換手段および被測定物の相対位置を変位させる位置変位手段とを備え、被測定物に対する相対位置に応じた光に変換された磁界強度情報から該被測定物による磁界強度分布を測定するものであり、請求項2記載の発明は、前記磁界光変換手段に、前記光出射手段で出射された光から特定の偏光面を持つ直線偏光を取り出して生成する第1の偏光手段と、磁化方向が直線偏光の進行方向と略平行方向または略直交方向に磁界強度に応じて磁化が配向される強磁性体を有する磁気光学効果素子と、該磁気光学効果素子内部の磁化方向に応じて偏光面を回転または非回転された直線偏光のうち特定の方向の成分のみ透過させる第2の偏光手段と、を設けたことを特徴とするものである。

【0011】また、請求項3記載の発明は、前記磁界光変換手段を複数備えることを特徴とするものであり、請求項4記載の発明は、前記複数の磁界光変換手段の直線偏光の進行方向をそれぞれ異なる方向に設定したことを特徴とするものである。

【0012】

【作用】請求項1記載の発明では、光出射手段から出射された光の光量が磁界光変換手段により被測定物との相対位置における磁界強度に応じて変化されて磁界強度情報が光量変化に変換され、その光量変化は光検出手段により検出される。そして、その磁界光変換手段は位置変位手段により被測定物との相対位置が変位される。したがって、磁界強度が小さい場合でも光の光量変化から他に影響されることのない磁界強度情報が得られ、電磁波シールドや増幅回路が必要なく磁界光変換手段が大型化することがない。

【0013】請求項2記載の発明では、第1の偏光手段により生成され磁気光学効果素子に入射された直線偏光のうち、磁気光学効果素子の直線偏光（以下、単に光ともいう）の進行方向と略平行に磁化方向を配向された磁区間を進行する直線偏光は偏光面を回転され、略直交方

向に磁化方向を配向された磁気光学素子を透過する直線偏光は偏光面を回転されない。磁化方向が光の進行方向と略平行方向の場合と略直交方向の場合とで第2偏光手段を透過される光量が異なる。したがって、磁気光学効果素子の磁化方向は磁界の光の進行方向と略平行方向または略直交方向の強度に応じて時間的なずれなく配向され、直線偏光の光量は被測定物との相対位置に位置ずれなく変化され磁界強度情報が検出される。また、被測定物に近接した相対位置を含め、直線偏光が進行する磁気光学効果素子内の微小領域の磁界は他の領域からの磁界に影響されることはない。

【0014】また、請求項3記載の発明では、磁界光変換手段が複数備えられ、磁界強度の検出位置が複数になる。したがって、被測定物に対する複数の相対位置における磁界強度情報が同時に検出される。また、磁界光変換手段は小型であるので近接した位置でも検出することができる。請求項4記載の発明では、複数の磁界光変換手段内部での光の進行方向がそれぞれ異なる方向に設定される。したがって、多方向成分の磁界強度情報が同時に検出される。また、磁界光変換手段は小型であるので近接または同一の位置でも多方向成分の磁界強度を検出することができる。

【0015】

【実施例】以下、本発明を図面に基づいて説明する。図1～図6は本発明に係る磁界測定装置の第1実施例を示す図であり、本実施例は請求項1または2に記載の発明に対応している。まず、構成を説明する。

【0016】図1において、11は磁界変換器であり、磁界変換器11はXYZステージ12上に保持された被測定物13に対向するように配置されている。XYZステージ12は直交するX・Y・Z方向毎に変位可能で各方向毎の変位量を検出するエンコーダ14a～14cを取り付けられたステージ12a～12cを備えており、ステージ12a～12cがX・Y・Z方向に変位することによって磁界変換器11と被測定物13との相対位置を変位させる。なお、磁界変換器11は本体ベース15に固定されたホルダ16に保持されており、被測定物13はXYZステージ12上部の図示していないブロック上に載置され保持される。このXYZステージ12は、エンコーダ14a～14cを含めて磁気的な影響を極力受けない材料で構成するのが好ましい。

【0017】21は光源、22は受光器であり、光源21から出射した光が磁界変換器11を経由し受光器22に到達するように光ファイバ等で光学的に接続されている。光源21は発光ダイオード（LED）またはレーザダイオード（LD）等の光出射手段を備えており、出射した光を光ファイバ（光導波路）23を介して磁界変換器11に入射する。光源21から出射する光は一定の光量を出射する場合と正弦波状またはパルス状の既知の光量変化を持つ光でもよい。受光器22はフォトダイオード、フォトトランジスタ、あるいはCCDのような受光量を検出する光量

検出手段を備えており、磁界変換器11を透過した光を光ファイバ23を介して受光しその受光した光をその光量に応じた電気信号に変換して出力する。磁界変換器11はXYZステージ12により変位される被測定物13との相対位置における光の透過領域の磁界強度に応じて入射された光を変調し透過する光量を変化させその磁界強度を光量変化に変換して検出する。すなわち、磁界変換器11は磁界強度情報を光量変化に変換する磁界光変換手段を構成し、受光器22がその光量を検出する光検出手段を構成している。また、XYZステージ12がその磁界変換器11と被測定物13との相対位置を変位させる位置変位手段を構成している。なお、光量を変化される光は、磁界変換器11の透過領域内の平均化した磁界強度により変調されることになる。

【0018】25は受光器22に接続されているコンピュータであり、コンピュータ25は予め格納されているプログラムに従って受光器22からの磁界強度信号としての電気信号を取り込む。また、コンピュータ25はXYZステージ12の各ステージ12a～12cの変位を制御するステージコントローラ26に、またエンコーダ14a～14cが検出した検出情報から各ステージ12a～12cの変位量を検知するエンコーダコントローラ27に接続されている。このコンピュータ25は、磁界強度の検知処理に同期させつつ各ステージ12a～12cをステージコントローラ26により変位させ磁界変換器11近傍を被測定物13がX・Y・Z方向に走査するよう制御することによってステージコントローラ26の各ステージ12a～12cの変位量から得られる磁界変換器11の位置座標（位置情報）と検知した被測定物13による磁界強度とを対応させて3次元的な磁界強度分布（磁界強度の分布関数）情報を得る。

【0019】なお、被測定物13は、磁化されているもの（例えば、永久磁石）であっても磁化されていないもの（例えば、永久磁石）であってもよく、磁化されていない磁性体の場合にはその下方または側方に電磁石や永久磁石を配置し所定の磁界中に被測定物13を置くことによって被測定物13の透磁率の不連続性によって発生する磁気的変化を測定することができ、例えば内部の空隙等により発生する磁気的変化を検出することができる。また、本実施例では、3次元的な磁界強度分布を測定する一例を説明するが、2次元的な磁界強度分布を測定することもでき、また1次元の磁界強度を測定してもよい。

【0020】ここで、磁界変換器11の原理を図2～図6を用いて説明する。磁界変換器11は、図2に示すように、入射光から直線偏光を取り出して生成する第1の偏光子（第1の偏光手段）31aと、特定の偏光面（図2中、偏光方向を矢印dで示している）を持つ直線偏光のみを取り出す（透過する）所謂、検光子の働きをする第2の偏光子（第2の偏光手段）31bと、磁界Hの向きが光の進行方向と略平行のときにはその偏光面を回転させ略直交方向のときにはその偏光面を回転させることなく

透過する磁気光学効果素子32とから構成されており、本実施例の偏光子31a、31bは偏光面が平行な直線偏光を取り出す所謂、平行ニコルの状態に配置され、偏光子31aが生成した直線偏光と偏光面が平行な状態（回転していない）の直線偏光を偏光子31bは透過して光の光量を変化させる。なお、図2では偏光面の回転が判り易いように偏光子31bが偏光面の所定角度回転した直線偏光を透過する場合を示している。

【0021】磁気光学効果素子32は、磁界Hの磁場ベクトル（方向および強度）に応じて磁化方向がX・Y・Z方向のいずれかに配向される強磁性体であり、磁化方向と平行方向に内部を進行（透過）する光の偏光面を磁気と光との相互作用（所謂、ファラデ効果）によってその磁化方向に応じて正逆回転させるファラデ素子により構成されている。この磁気光学効果素子（以下、ファラデ素子ともいう）32が回転させる偏光面のファラデ回転角は、磁界Hの磁界強度および素子の光の進行方向の厚さに依存し、図3に示すように、強磁性体が磁気飽和に達すると所定以上回転しないことから素子の厚さによって設定することができる。このファラデ素子32の強磁性体は、図4に示すように、自発磁化によって局所的に磁気飽和となっている磁区32aが内部にあり、この磁区32a内では磁氣的に飽和したときと同じ現象が認められ、その磁化方向に進行する光はファラデ効果を受けて偏光面が磁区32a内の磁化方向に応じた方向に正逆回転される。なお、ファラデ素子32としては、抗磁力が小さく外部磁界Hに応じて磁化方向が配向される所謂、ソフト磁性の強磁性体を用いるのが好ましい。

【0022】ファラデ素子32は、YIG（イットリウム・鉄・ガーネット）、GaBiIG（ガドリウム・ビスマス・鉄・ガーネット）、TbBiIG（テルビウム・ビスマス・鉄・ガーネット）等が知られており、一般に、YIGはGGG（GdGaガーネット）基板上に液相エピタキシャル成長法でファラデ効果材料（例えば、Bi置換のYIG）を成膜することによって基板に対して垂直方向（正逆方向）に磁化が向いている磁区32aを形成することができ、このような材料を使用することで容易に自発磁化の方向を制御することができる。そして、本実施例のファラデ素子32は、ファラデ回転角が90度になるように厚さが設定されており、図5に示すように、平行ニコルの状態に配置された偏光子31a、31bの間に磁区32a内の磁化方向が光の進行方向と略平行（正逆方向）になるように介装されている。したがって、ファラデ素子32は、外部から磁界Hが印加されない場合および光の進行方向と平行な磁界Hが印加された場合には磁区32a内の磁化方向が光の進行方向と略平行方向のままであることから光の偏光面を90度だけファラデ回転させて透過し、また光の進行方向と直交する方向の磁界Hが印加された場合にはファラデ素子32内の磁化方向が光の進行方向と直交方向となり、その偏光面が回転することなく

第2の偏光子31bを透過する。すなわち、磁界変換器11は、ファラデ素子32の磁化ベクトルが磁界Hの磁場ベクトル（強度および方向）に応じて磁化方向を光の進行方向と略平行方向または略直交方向に配向され、光源21から出射され偏光子31aにより生成された直線偏光のうち、進行方向と略直交方向の磁界強度に比例する光量となる直線偏光は偏光子31bを透過させ、略平行方向の磁界強度に比例する光量の直線偏光は偏光子31bを透過させない。そして、受光器22は偏光子31bを透過した直線偏光を受光し磁界Hの光の進行方向と直交する方向の磁界強度に比例する光量に応じた電気信号を出力する。

【0023】ここで、本実施例では、1つの磁界変換器11によって被測定物13による磁界強度分布を測定するが、1回の測定では光の進行方向と直交方向の磁界強度情報を直線偏光の光量変化に変換するだけになるので、例えば、図6に示すように3つの磁石13aがN極およびS極を揃えて離隔した状態で並んでいる被測定物13の場合には磁石13aの並列方向をX軸、N・S極方向をY軸、図面の直交方向をZ軸とすると、そのYZ面内の磁界強度を光量変化に変換してX方向の磁界強度に対する大きさ（絶対値の比率）のみを測定することになる。そのため、本実施例では、被測定物13を磁界変換器11の光の進行方向が直交する3方向になる同一の相対位置で対向するようにXYZテーブル12によって変位させることによって磁界変換器11の位置座標と被測定物13によるそれぞれの磁界強度情報を対応させて整理（演算）することによってX・Y・Z方向を含めた磁界強度分布を測定することができる。さらに、予め測定しておいた既知の磁界強度による光量変化（電気信号）に基づいて前記磁\*

\* 界強度情報として各方向における強度比だけでなく、その磁界強度の大きさ算出して磁界強度分布の測定も行なうことができる。

【0024】次に、前記磁界強度情報の演算を説明する。まず、被測定物13の磁界変換器11に対する位置座標をエンコーダコントローラ27による各ステージ12a～12cの変位量から検知するとともに、その相対位置で磁界変換器11内に入射される直線偏光の進行方向と直交方向の磁界強度を、その磁界変換器11を透過し受光器22により受光された光量に応じた電気信号に基づいて測定する。このとき、既知の磁界強度による光量変化に応じた電気信号に基づいて磁界強度の大きさを算出し、光の進行方向のX・Y・Z方向および位置座標に対応させてコンピュータ25のメモリ内に格納しておく。そして、この測定を、磁界変換器11が3次的に走査するように、かつ、直線偏光がX・Y・Z方向で直交するように被測定物13の相対位置をXYZテーブル12により変位させる。ここで、光の進行方向と直交方向の磁界強度は2方向で等価であるので、検出される直線偏光の光量はその直交方向の成分の磁界強度の和に比例する。

【0025】そのため、X・Y・Z方向に進行する直線偏光毎に検出された光量をRx、Ry、Rzとし、それぞれの光量に応じて受光器22から出力された電気信号に基づいて算出された磁界強度をHyz、Hxz、Hxy、X・Y・Z方向毎の磁界強度をHx、Hy、Hzとすると、これらの関係は次式のように表すことができる。

【0026】

【数1】

$$R_x \propto H_{yz} = \sqrt{H_y^2 + H_z^2} \quad \dots (1)$$

$$R_y \propto H_{xz} = \sqrt{H_x^2 + H_z^2} \quad \dots (2)$$

$$R_z \propto H_{xy} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \quad \dots (3)$$

【0027】この(1)～(3)式はHx、Hy、Hzを ※る。

未知数とする3元連立方程式であるので、Hx、Hy、H

【0028】

zのそれぞれを次式により演算して算出することができ ※

【数2】

$$H_x = \sqrt{\frac{H_{xz}^2 - H_{yz}^2 + H_{xy}^2}{2}} \quad \dots (4)$$

$$H_y = \sqrt{\frac{H_{xy}^2 + H_{yz}^2 - H_{xz}^2}{2}} \quad \dots (5)$$

$$H_z = \sqrt{\frac{H_{xz}^2 + H_{yz}^2 - H_{xy}^2}{2}} \quad \dots (6)$$

【0029】上記のように、被測定物13を磁界強度の演算処理に同期させつつ磁界変換器11が直線偏光の進行方向のX・Y・Z方向毎に3次的に走査するようXYZテーブル12により変位させることによって被測定物13による3次的な磁界強度分布を測定することができる。

なお、上記測定では、検出した光量毎に直交する2方向の磁界強度の和の大きさを算出して各方向毎の磁界強度Hx、Hy、Hzを算出しているが、受光器22が受光する光量も2方向の成分に分けることができるので、上記(1)～(6)式における磁界強度Hを光量Rとした同



様な連立方程式により $X \cdot Y \cdot Z$ 方向毎の磁界強度に比例した光量を算出することができ、その光量に基づいて予め既知の磁界強度の大きさと光量との関係から $X \cdot Y \cdot Z$ 方向毎の磁界強度の大きさを算出するようにしてもよい。

【0030】このように本実施例においては、光源21に光ファイバ23を介して接続された偏光子31aおよび受光器22に光ファイバ23を介して接続された偏光子31bを平行ニコルの状態に配置するとともに、これらの間に内部を透過する光の進行方向と磁化方向が略平行方向となるように作製されたファラデ素子32を介装して磁界変換器11を構成している。ファラデ素子32の磁化方向を被測定物13による磁界の光の進行方向と略平行方向または略直交方向毎の強度に応じて配向させ、偏光子31aにより生成された直線偏光のうち、進行方向の磁界強度に比例する直線偏光の偏光面をファラデ回転させて偏光子31bを透過しないようにし、進行方向に直交する方向の磁界強度に比例する直線偏光をファラデ回転させることなく偏光子31bを透過させることができ、この透過した直線偏光の光量の変化に磁界強度を変換して検出することができる。したがって、ファラデ素子32の磁化方向は磁界強度に応じて配向され直線偏光の光量に変化されるので、磁界強度を時間的なずれ、すなわち位置ずれなく測定することができる。そして、磁界変換器11と被測定物13との同一の相対位置で直線偏光の進行方向を $X \cdot Y \cdot Z$ 方向の3方向に直交させ、それぞれで光の進行方向の直交方向の磁界強度を検出することにより被測定物13による $X \cdot Y \cdot Z$ 方向毎の磁界強度を測定することができる。磁界変換器11が走査するように被測定物13を変位させることによって $X \cdot Y \cdot Z$ 方向の磁界強度の3次元的な分布を測定することができる。

【0031】また、磁界変換器11はファラデ素子32が磁区32毎に他の領域の磁界に影響されことなく磁化方向が磁界強度に応じて配向させ、その磁化方向に応じた直線偏光の光量変化に磁界強度情報を変換して検出するので、被測定物13に近接した位置を含めた相対位置の微小領域の磁界強度情報を正確に検出することができ、他の領域の磁界強度による影響もなく、電磁波等のノイズによる影響もない。したがって、電磁波シールドや増幅回路の必要ない小型の磁界変換器11により磁界強度が小さい場合でも正確な磁界強度分布を測定することができる。なお、光源21から出射する光は、受光器22が偏光子31aで取り出された光量と比較可能な程度の光量を出射すればよい。

【0032】また、本実施例の他の態様としては、図示は省略しているが、ファラデ素子32の磁化方向が磁界Hのない状態で直線偏光の進行方向と直交する方向になるように偏光子31a、31bの間に介装してもよく、この場合にも磁界Hに応じて磁化方向は配向するので検出原理は同じである。また、ファラデ素子32の磁化方向は外部

磁界Hのない状態で直線偏光の進行方向と略平行方向あるいは直交方向のいずれでもよいが、偏光子31a、31bから取り出す直線偏光の偏光面を直交させて配置することによって、光の進行方向と略平行方向の磁界強度に応じた光量となる直線偏光の偏光面をファラデ回転させ磁界変換器11を透過させることによって、その一方の磁界強度に応じた光量を検出するように構成することもできる。

【0033】なお、光ファイバ23として、偏波面保存型のファイバを用いてもよく、この偏波面保存型ファイバを用いることによって偏光子31a、31bを光源21および受光器22側に配置することもできる。次に、図7および図8は本発明に係る磁界測定装置の第2実施例を示す図であり、本実施例は請求項1または2に記載の発明に対応している。なお、本実施例では、上述実施例と同様な構成には同一の符号を付してその説明を省略する。

【0034】図7において、42はファラデ素子であり、ファラデ素子42の一面側には光導波路型 $1 \times 2$ 分岐の光カブラ43aが、他面側には光カブラ43を介して入射された直線偏光を折り返す反射ミラー45が配置されており、カブラ43のファラデ素子42の反対側には偏光子31a、31bが接続されている。ファラデ素子42は、外部から磁化Hの印加しない状態で図示していない磁区内の磁化方向が透過する光の進行方向と略平行になるように作製されており、このファラデ素子42はその光を反射ミラー42で折り返し磁区内の磁化方向に応じてその往路および復路で正逆方向に偏光面を $45^\circ$ のファラデ回転角で回転させる厚さに設定されている。そして、偏光子31a、31bは、取り出す偏光面の挟角が $45^\circ$ になるように配置されており、偏光子31aで生成した直線偏光のうち、偏光面が $+45^\circ$ のファラデ回転した直線偏光を偏光子31bが透過させ、逆に偏光面が $-45^\circ$ のファラデ回転した直線偏光は透過させない。

【0035】本実施例の磁界変換器11は、例えば、透過時の光量の損失がなく偏光子31aから取り出された直線偏光を1.0とし、光路中にない場合に、図示するように外部から光の進行方向と略平行方向の磁界Hを磁石13aのN極を近接させて印加されると、ファラデ素子42の磁区内の磁化の向きは磁界Hの方向に揃う（磁氣的に飽和）ので、すべての直線偏光は偏光面がファラデ素子42内を往復する間に $-45^\circ$ のファラデ回転を受け偏光子31bを透過することができず受光器22の受光光量は零となる。また、磁石13aの向きを逆にしてS極が近接させると、すべての直線偏光は偏光面がファラデ素子42内を往復する間に $+45^\circ$ のファラデ回転を受け偏光子31bを透過し受光器22の受光光量は1.0となる。また、図8に示すように外部磁界Hがない場合には、ファラデ素子42の磁区内の磁化の向きは光の進行方向と略平行に、かつ、略均等に正逆方向となっているので、ファラデ素子42内を往復する間に0.5の直線偏光は $+45^\circ$ 度のフ



ァラデ回転を受け偏光子31bを透過し、また0.5の直線偏光は-45度のファラデ回転を受け偏光子31bを透過することができず受光器22の受光光量は0.5となる。

【0036】そして、受光器22が受光する光の光量は、光の進行方向の磁界強度であることからその磁界強度を光量と既知の磁界強度との関係から算出することができる。このように本実施例では、上述実施例の作用効果に加え、ファラデ素子42が直線偏光の進行方向と略平行方向の磁界強度に応じた光量となる直線偏光の偏光面をファラデ回転させて偏光子31bを透過させるので、光の進行方向の磁界強度情報を光量変化に変換して検出することができる。また、偏光子31a、31bの透過する直線偏光の偏光面の挟角は45度に設定し、同じファラデ回転角でも偏光面の回転方向に応じて直線偏光を偏光子31aは透過または透過させないので、磁界の向きを特定することができる。

【0037】また、本実施例の他の態様としては、図9に示すように、ファラデ素子42の一面側に偏光子および検光子を兼ね平行ニコルの状態と同様な働きをする偏光子31を接続して、その偏光子31の裏面側に接続した光ファイバ23は離隔した位置で例えば、カブラ43aなどにより分岐して光源21または受光器22に接続する構成としてもよい。

【0038】次に、図10は本発明に係る磁界測定装置の第3実施例を示す図であり、本実施例は請求項1〜3のいずれかに記載の発明に対応している。なお、本実施例では、上述実施例と同様な構成には同一の符号を付してその説明を省略する。本実施例は、同図に示すように、上述第2実施例の磁界変換器11を上下方向または水平方向に3組み並設した構成となっており、一組みの偏光子31、ファラデ素子42および反射ミラー45に対して3本の光ファイバ23をホルダ53により保持して偏光子31のファラデ素子42の反対側に接続している。

【0039】なお、光ファイバ23の分岐は偏光子31近傍あるいは離隔した位置のいずれでもよい。また、光源21および受光器22は光ファイバ23の個々に接続してもよく、また光源21が出射する光を分割して光ファイバ23に導入したり、受光器22の受光面の異なる位置で光を受光するように構成してもよい。さらに、ホルダ53は3本の光ファイバ23を保持しているが、ホルダ53を3分割してもよいことはいうまでもない。

【0040】本実施例では、上述実施例の作用効果に加え、上下方向または水平方向に異なる被測定物13との3箇所の相対位置で磁界強度を同時に検出することができるので、磁界変換器11の走査回数を少なくして磁界強度分布の測定時間を1/3に短縮することができる。また、偏光子31およびファラデ素子42等は一組みであるので、磁界変換器11が大型化してしまうこともなく、近接した検出位置で被測定物13による磁界強度を検出するこ

とができる。

【0041】なお、本実施例では、3箇所の相対位置での磁界強度の同時検出を可能にしているが、これに限らず、例えば光ファイバ23を10本にして、より多くの相対位置で検出可能に構成してもよいことはいうまでもない。次に、図11は本発明に係る磁界測定装置の第4実施例を示す図であり、本実施例は請求項1〜4のいずれかに記載の発明に対応している。なお、本実施例では、上述実施例と同様な構成には同一の符号を付してその説明を省略する。

【0042】本実施例は、同図に示すように、上述第2実施例の磁界変換器11を、光の進行方向がX・Y・Z方向で直交するように3組み配置した構成となっている。本実施例では、上述実施例の作用効果に加え、光の進行方向をそれぞれ異なるX・Y・Z方向に設定しているので、被測定物13による方向毎の磁界強度を同時に検出することができ、磁界変換器11の走査時間を短縮して磁界強度分布の測定時間を短縮することができる。なお、同一位置の磁界強度を同時に検出する場合には、それぞれの相対的な位置関係は判っているので磁界強度を算出する際に補正すればよい。

【0043】なお、本実施例では、磁界変換器11を光の進行方向がX・Y・Z方向になるように配置しているが、これに限らず、例えばX・Y・θ方向となるように配置してもよいことはいうまでもない。次に、図12は本発明に係る磁界測定装置の第5実施例を示す図であり、本実施例は請求項1〜4のいずれかに記載の発明に対応している。なお、本実施例では、上述実施例と同様な構成には同一の符号を付してその説明を省略する。

【0044】本実施例は、同図に示すように、上述第4実施例の磁界変換器11に共通のファラデ素子62を設けたものである。ファラデ素子62は、X・Y・Z方向の厚さがそれぞれ同一になるように立方体に形成されており、磁化方向がX・Y・Z方向のいずれか一方と略平行に他の2方向には直交するように作製されている。このファラデ素子62のX・Y・Z方向の一面側には、光ファイバ23を接続された偏光子31が、他面側には図示していない反射膜が成膜されており、偏光子31は偏光子および検光子を兼ねることにより平行ニコルの状態に配置されたものと同様な働きして光源21の光ファイバ23を介する入射光から特定の偏光面を有する直線偏光を取り出すとともにファラデ素子62内を透過し折り返されたファラデ回転を受けていない直線偏光のみを透過し再度光ファイバ23を介して受光器22に受光させるようになっている。得られた3つの磁界変換器11のそれぞれの出力を上記(4)、(5)、(6)式に従って独立した磁界強度成分を算出することができる。

【0045】本実施例では、上述実施例の作用効果に加え、ファラデ素子62を共通にしているので、被測定物13との同一の相対位置におけるX・Y・Z方向からの磁界

強度を同時に検出することができ、位置の補正をする必要がない。また、磁界変換器11を小型にすることができる。

【0046】

【発明の効果】請求項1記載の発明によれば、光の光量を被測定物との相対位置における磁界強度に応じて変化させ磁界強度情報を光量変化に変換して検出するので、磁界強度が小さい場合でも他に影響されことなく磁界強度を検出することができる。したがって、電磁波シールドや増幅回路の必要のない小型の手段で微小領域の磁界強度情報を得ることができ、被測定物に対する相対位置を変位させることにより被測定物による磁界強度分布を正確に測定することができる。

【0047】請求項2記載の発明によれば、光の進行方向と略平行方向および略直交方向の磁界成分に従い変化する磁化の配向の変化により、透過する光の偏光面は回転と非回転する。これに従い、一方は透過、他方は透過させないことで光の変調信号を検出し、この光信号は磁界強度および方向を検出する信号であって、電気的なノイズによって影響を受けることもなく微小な領域の磁界強度および方向を検出できる。したがって、被測定物による微小領域での正確な磁界強度を検出して磁界強度分布を測定することができる。

【0048】また、請求項3記載の発明によれば、検出位置が複数になるので、被測定物に対する複数の相対位置における磁界強度を同時に検出することができ、また小型であるので近接した位置でも同時に検出することができる。したがって、走査を少なくすることができ、磁界強度分布の測定時間を短縮することができる。請求項4記載の発明によれば、複数の光の進行方向をそれぞれ異なる方向に設定しているので、被測定物に対する複数の相対位置におけるX・Y・Z成分毎の磁界強度を同時に検出することができ、またその手段は多成分の磁界強度を同時に検出することができる。したがって、走査を少なくすることができ、磁界強度分布の測定時間を短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る磁界測定装置の第1実施例の概略全体構成を示す正面図である。

【図2】その磁界光変換手段による光の変調を説明する \*

\* 説明図である。

【図3】その磁気光学効果素子によるファラデ回転角を示すグラフである。

【図4】その磁気光学効果素子による光の偏光面の回転を説明する説明図である。

【図5】その磁界光変換手段の概略構成図である。

【図6】その磁界強度の検出を説明する磁界強度分布の一例を示すグラフである。

【図7】本発明に係る磁界測定装置の第2実施例の磁界光変換手段を示す概略構成図である。

【図8】その磁界光変換手段による光の変調を説明する説明図である。

【図9】その他の態様を示す磁界光変換手段の概略構成図である。

【図10】本発明に係る磁界測定装置の第3実施例の磁界光変換手段を示す概略構成図である。

【図11】本発明に係る磁界測定装置の第4実施例の磁界光変換手段を示す概略構成図である。

【図12】本発明に係る磁界測定装置の第5実施例の磁界光変換手段を示す概略構成図である。

【図13】磁界測定装置の従来例の概略全体構成を示す正面図である。

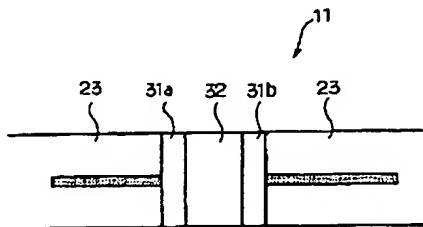
【図14】図13と異なる従来例の概略全体構成を示す正面図である。

【図15】従来例の課題を説明する説明図である。

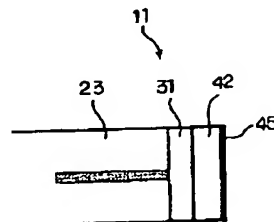
【符号の説明】

- 11 磁界変換器（磁界光変換手段）
- 12 X Y Zテーブル（位置変位手段）
- 13 被測定物
- 13a 磁石
- 14a ~ 14c エンコーダ
- 21 光源（光出射手段）
- 22 受光器（光検出手段）
- 23 光ファイバ
- 25 コンピュータ
- 31 偏光子（第1および第2の偏光手段）
- 31a 偏光子（第1の偏光手段）
- 31b 偏光子（第2の偏光手段）
- 32、42、62 磁気光学効果素子
- 32a 磁区

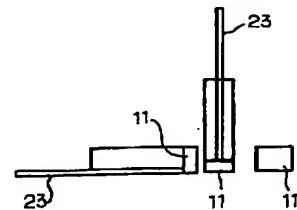
【図5】



【図9】



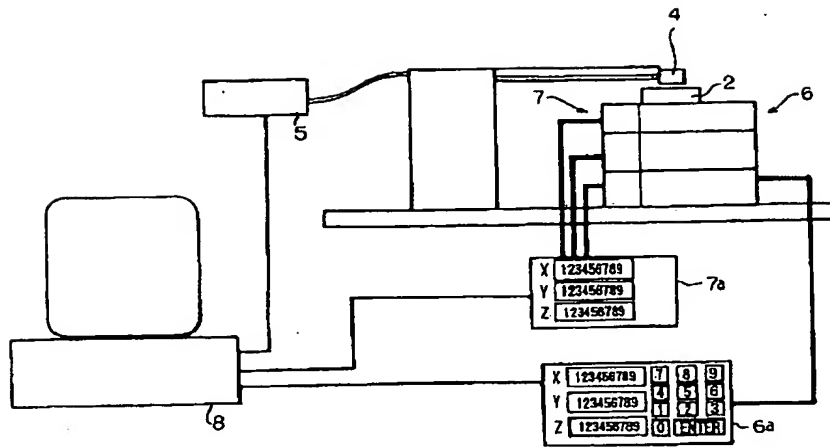
【図11】







【図14】



【図15】

